

サステナブルビル構造システムに関する研究
-構造設計法の提案-

正会員 ○古川 純也* 同 島 有希子**
同 加藤 貴志*** 同 前田 親範****
同 岩田 衛*****

サステナビリティ リユース 柱梁接合部
座屈拘束ブレース 損傷制御構造 設計法

1. 序

建築鋼構造分野から地球環境に配慮した「サステナブルビル構造システム(図1)」が提案された¹⁾。

本システムは、主架構と制振部材を分離する損傷制御構造の考え方を採用している。制振部材には方杖状に配置した座屈拘束ブレース(以下、BRブレース)を用いる。柱梁接合部は、接合部ユニットを介して鋼棒に初期張力を導入し、締め付ける(図2)。この鋼棒を用いた接合部をサステナブル接合部(以下、SB接合部)とする。

2. 研究目的

本研究では、既往の実験結果から得られた知見²⁾³⁾を基に、SB接合部の設計方法を確立し、サステナブルビル構造システムの構造設計法を提案する。

次に、提案した設計法に沿って試設計を行い、目標クライテリアを満たした設計を示す。

3. 設計法

3.1 設計フローの提案

図3にサステナブルビル構造システムの設計フローを示す。本システムの設計法は、損傷制御構造の設計概念を基本的な枠組みとする。一般的な設計フローに、SB接合部、BRブレースの設計と時刻歴応答解析が加わる。

3.2 想定モデル

外周部にSB接合部を用いたチューブ構造とし、BRブレースは外周部のみ方杖状に配置する。なお隅角部の柱は角形鋼管とする。

4. 解析方法

4.1 SB接合部の力学モデル

既往の研究³⁾で構築された、SB接合部の数値解析モデルを用いる。鋼棒は平行部とネジ部を軸バネでモデル化し、直列につないでいる。

4.2 SB接合部の寸法設定

図4に接合部ユニットの詳細を示す。

5. SB接合部の設計

5.1 接合部ユニット

エンドプレート、アンカープレートの板厚は、鋼棒の初期張力によってかかる応力に対して、長期許容応力度以内となるように決定する。本研究では、鋼棒の長さを既往の研究と同様に400mmとする。素材はS45Cとし、初期張力は鋼棒の降伏耐力の1/3とする。

5.2 SB接合部離間モーメント

接合部の離間モーメントが長期荷重による梁端モーメントを上回るように鋼棒径を設計する。SB接合部の離間モーメントは実大実験²⁾で用いている算定式とする。算定結果を表1に示す。

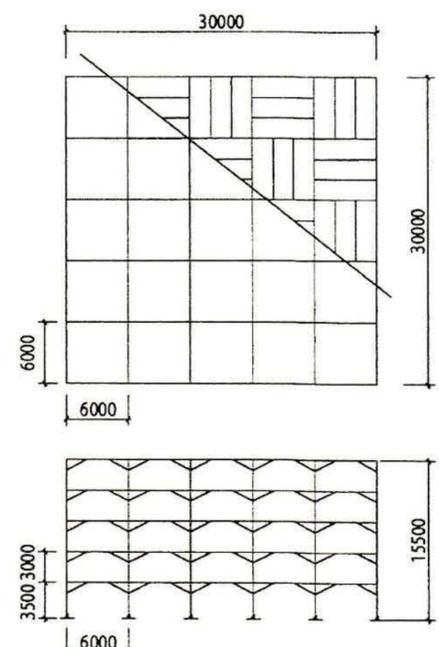
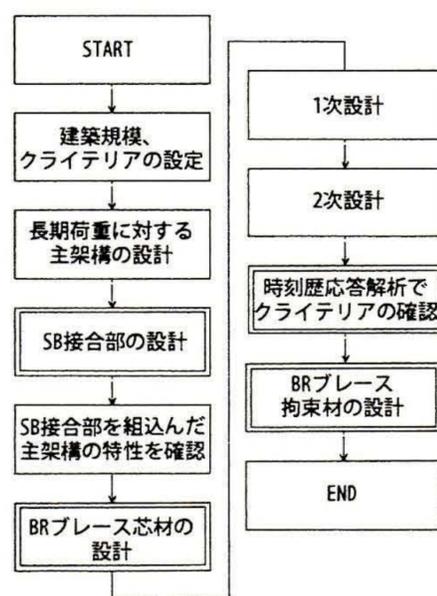
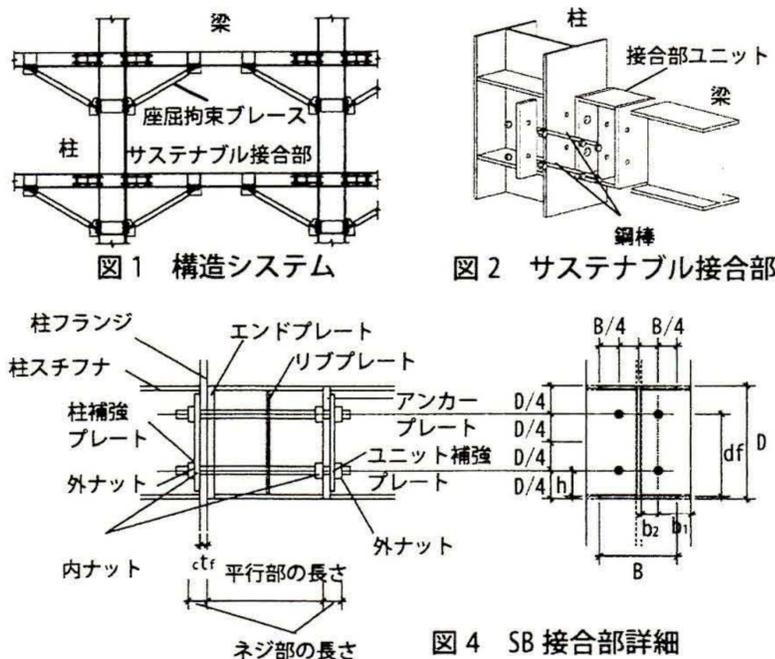
$$M_s = 2n \cdot T_0 \cdot d_c \tag{1}$$

n: 鋼棒の行数(2), *T*₀: 初期導入張力, *d*_c: 梁圧縮フランジ縁端から梁中心距離

5.3 鋼棒の降伏モーメント

柱フランジ部の降伏曲げ耐力を算出し、鋼棒の降伏モーメントがその値以下になる鋼棒径で設計する。

柱フランジ部の降伏曲げ耐力はスプリットティ形式柱



梁接合部の耐力を参考にした、下記の式を用いて柱フランジと補強プレートの降伏曲げ耐力 M_y を計算する。算定に必要な各寸法を図4に示す。

$${}_cM_y = {}_cP_y \cdot d_f \quad (2)$$

$${}_cP_y = 4 \cdot {}_cM_0 \left\{ \frac{b_1}{h} + \frac{b_1}{h_m} + \pi + \frac{2}{\pi} \left(\frac{h}{b_2} - 1 \right)^2 + \frac{2}{\pi} \left(\frac{h_m}{b_2} - 1 \right)^2 \right\} \quad (3)$$

$${}_cM_0 = \frac{{}_cI_f^2}{4} \cdot {}_cF_y \quad (4)$$

$$h_m = \frac{b_2}{2} + \sqrt{\left(\frac{b_2}{2} \right)^2 + \frac{\pi \cdot b_1 \cdot b_2}{4}} \quad (5)$$

${}_cP_y$: 柱フランジ部の面外降伏引張耐力, ${}_cF_y$: 柱フランジの降伏強さ

d_f : 梁フランジ 引張力が作用する鋼棒間距離,

b_1 : 接合鋼棒 柱フランジ縁端距離, b_2 : 接合鋼棒 柱ウェブ間距離,

h : 接合鋼棒 梁フランジ板厚中心間距離, ${}_cI_f$: 柱フランジ板厚,

SB接合部の降伏モーメントは実大実験²⁾で用いている算定式とする。算定結果を表1に示す。

$$M_y = \sum_{i=1}^n 2F_y \cdot \frac{d_i^2}{d_1} \quad (6)$$

F_y : 鋼棒の降伏強度, d_i : 梁圧縮フランジ縁端から*i*行目の鋼棒までの距離,

d_1 : 梁圧縮フランジ縁端から最初に降伏する鋼棒までの距離

7.1 立体解析モデル

解析モデルは、各構面とも5層5スパンの鉄骨造とする。柱脚は露出形式柱脚を想定し、回転バネでモデル化する。

図5に5層モデルの平面図と立面図を示す。表2に主架構の部材断面表を示す。本解析においては、 $D_s=0.3$ としたときの保有水平耐力を満足する部材断面とする。想定荷重は、固定荷重 5.1kN/m^2 、積載荷重 1.8kN/m^2 とし、全ての層において、 6.9kN/m^2 とする。

7.2 解析モデルの設計条件

表3に主架構、SB接合部、BRブレースそれぞれの目標クライテリアを示す。 ω_{\max} は、拘束力の指標 P_E/P_y (P_E : 拘束材のオイラー座屈荷重、 P_y : 芯材の降伏荷重)を用いた性

表1 鋼棒径 32mm での算定結果

	梁端モーメント (kN.m)	離間モーメント (kN.m)	柱フランジ曲げ耐力 (kN.m)	接合鋼棒降伏モーメント (kN.m)
R	68.8	113	343	281
5F	71.1	161	886	402
4F	71.6	193	1745	483
3F	71.0	193	3879	483
2F	67.2	193	3879	483

表2 主架構部材断面表

	C1 (BCP235)	C2 (SS400)	G1 (SS400)	G2 (SS400)
最上階	□-300×300×9×18	H-350×350×12×19	H-350×175×7×11	H-350×175×7×11
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
最下階	□-450×450×9×18	H-458×417×30×50	H-600×200×11×17	H-396×199×7×11

表3 耐震設計クライテリア

	1次設計	2次設計	地震波(レベル1)	地震波(レベル2)
外力	$C_o=0.2$ の水平力	$C_o=1.0$ の水平力	地動速度25kine	地動速度50kine
許容層間変形角	1/200	1/100	1/200	1/100
主架構の損傷	無損傷	無損傷	無損傷	一部降伏
鋼棒 (SB接合部)	第一段階 (剛接合)	離間、鋼棒の降伏 (半剛状態)	第一段階 (剛接合)	鋼棒の降伏 (半剛状態)
BRブレース	弾性域	塑性域	降伏 ($\omega < 1/2 \omega_{\max}$)	降伏 ($\omega < 3/4 \omega_{\max}$)

能評価式 $\omega=150 P_E/P_y$ の関係より算出する¹⁾。

静的増分解析における外力分布は、 A_i 分布に従うものとする。減衰は瞬間剛性比例型とし、1次固有周期に対する減衰定数は2%とする。

時刻歴応答解析に用いる入力地震動は、観測地震動は神戸海洋気象台 NS、El centro NS、八戸 EW、Taft EW、模擬地震動は、日本建築センター作成によるBCJを採用する。観測地震動は、地動最大速度25kineと50kineに基準化し、それぞれレベル1、レベル2の設定とする。

7.7 応答解析結果

図6に神戸波レベル2の3層目中央部における、鋼棒の軸変形荷重関係を示す。下層では鋼棒の初期張力が抜けて塑性化し、接合部は半剛接合の状態となっている。主架構の損傷程度を見ると、柱梁部材は弾性範囲内であり、BRブレースでエネルギーを吸収している。

図7に神戸波におけるレベル1とレベル2、表4に各地震波におけるレベル2の応答層間変形角を示す。目標とした層間変形角を超える地震波もあるが、概ね満足している。

以上より、5層モデルにおいて本システムで設計クライテリアを満足した設計ができたと言える。

8. 結論

- 1) 既往の実験結果の知見を統合し、サステナブルビル構造システムの設計法を提案した。
- 2) 提案した設計法に従い5層5スパンの建物を想定した立体モデルで試設計を行い、設計法の有効性を確認した。

【参考文献】

- 1) 會澤貴浩、山田哲、岩田衛：サステナブルビル構造システムの提案とその基本特性、日本建築学会環境系論文集、第581号、2004.7
- 2) 岡田健、山本重治、山田哲、岩田衛：サステナブルビル構造システムの柱梁接合部に関する実験、日本建築学会構造系論文集、第591号、2005.5
- 3) 岩田衛、平田倫央、山本重治、長尾真奈：サステナブルビル構造システムの柱梁接合部の力学モデルとその検証、日本建築学会構造系論文集、第606号、2006.8
- 4) 村瀬亮、村井正敏、岩田衛：鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究 その4、日本建築学会構造系論文集、第620号、2007.10

表4 応答層間変形角一覧

	El Centro	八戸	Taft	BCJ
FL5	1/76	1/164	1/112	1/115
FL4	1/74	1/172	1/102	1/102
FL3	1/71	1/172	1/107	1/104
FL2	1/74	1/130	1/113	1/100
FL1	1/105	1/144	1/145	1/121

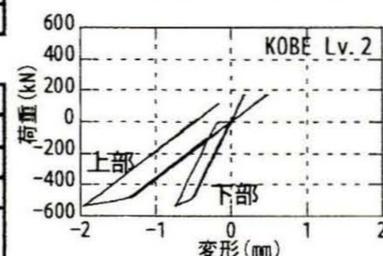


図6 鋼棒の変形 - 荷重関係

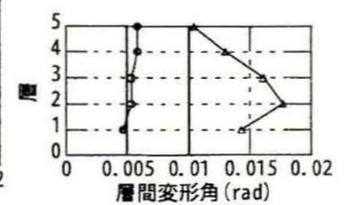


図7 応答層間変形角

* 神奈川大学工学研究科 大学院生
 ** 神奈川大学工学研究科 大学院生(当時)
 *** テンポール株式会社 取締役
 **** 前田親範一級建築士事務所 代表
 ***** 神奈川大学工学部建築学科 教授・工学博士

* Graduate Student, Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ.
 ** Former Graduate Student, Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ.
 *** Director, Tenpole Co., LTD
 **** Representative, Maeda office
 ***** Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ., Dr Eng.